BEITRAG ZUR KENNTNIS DER TURMALINGRUPPE

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
(SEKTION II)

DER KGL. BAYER. LUDWIG-MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

EINGEREICHT AM 15. JUNI 1912

VON

WALDEMAR T. SCHALLER
AUS WASHINGTON

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN
1912

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548303_0103

MEINEN LIEBEN ELTERN

IN VEREHRUNG UND DANKBARKEIT
GEWIDMET

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	321
Beschreibung der einzelnen untersuchten Turmaline	323
1. Blaßrote Krystalle von Elba	323
2. Rote Krystalle von Mesa Grande, Californien	325
3. Blaßgrüne Krystalle von Mesa Grande, Californien	326
4. Grüne Krystalle von Haddam Neck, Connecticut	328
5. Blaue Krystalle von Pala, Californien	329
6. Schwarze Krystalle von Ramona, Californien	329
7. Schwarze Krystalle von Lost Valley, Californien	331
Die früher beschriebenen Krystalle von anderem Vorkommen	332
Die allgemeine chemische Formel von Turmalin	332
Beziehung zwischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung	340
Allgemeine Erörterung	340
Specifisches Gewicht	341
c-Axe	341
Optische Eigenschaften	342
Zusammensetzung	342

Einleitung.

Das Problem der chemischen Zusammensetzung des Turmalins kann man nur dadurch lösen, daß man die verschiedenen Eigenschaften zur chemischen Zusammensetzung in Beziehung setzt. Die Durchsicht der Literatur zeigt, daß, von einer Ausnahme abgesehen, das Problem nur von der chemischen Seite aus betrachtet wurde; die physikalischen und krystallographischen Eigenschaften traten in den Hintergrund. Als Riggs[1]) 1888 seine Analysen von Turmalin veröffentlichte, wurden gleichzeitig von verschiedenen anderen Autoren[2]) Deutungen dieser Analysen versucht. Eine Lösung des Problems der chemischen Zusammensetzung wurde versucht, nicht durch eine Betrachtung der physikalischen Eigenschaften des Minerals Turmalin, sondern auf Grund mathematischer Berechnungen der von Riggs erhaltenen Analysenzahlen. Es ist überflüssig, darauf hinzuweisen, daß eine solche Interpretation eine umfangreiche Controverse zur Folge hatte, da man fast jede Formel aus den Analysen ableiten konnte; umgekehrt gab es Einzelresultate, welche zu den theoretischen Berechnungen stimmten.

Ferner haben Penfield und Foote[3]) Turmalin analysiert. Als allgemeine Formel ergab sich: $H_9Al_3(B.OH)_2Si_4O_{19}$;

alle Varietäten von Turmalin konnten auf diese Formel bezogen werden.

1) Diese Zeitschr. **15**, 436. 2) Clarke, Tschermak u. A.
3) Diese Zeitschr. **31**, 321.

Kurz darauf brachte Wülfing[1]) eine lange krystallographische und physikalische Beschreibung des Minerals; er ermittelte auch einige Beziehungen zwischen den Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung der Varietäten. Es ergab sich schließlich die Tatsache, daß die Eigenschaften der verschiedenen Turmaline nicht constant sind, sondern etwas variieren. Auf Grundlage der Resultate, welche Penfield und Foote in chemischer Hinsicht beibrachten, und auf Grund der Resultate, welche Wülfing in physikalischer Hinsicht mitteilte, wollen wir weiter versuchen, in die Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften einzudringen.

Eine solche Untersuchung würde man natürlich am besten an synthetischem Material vornehmen. Dann könnte man die einzelnen Componenten und alle gewünschten Mischungen darstellen, deren chemische Zusammensetzung synthetisch bekannt ist und leicht analytisch nachgerechnet werden kann. In unserem Falle liegen aber nur natürliche Krystalle vor; wir sind also in der Methode eingeschränkt. Verschiedene Factoren, wie der Mangel an Krystallen, die genaue Messungen liefern, Verunreinigungen (bekannter oder unbekannter Art), der Mangel an reichlichem Material, welches für eine vollständige Untersuchung aller Eigenschaften nötig ist, — all dieses erschwert das Problem, welches die Turmalingruppe bildet, ganz bedeutend. Um die Beziehungen einwandfrei zu erhalten, sollte man alle Bestimmungen an derselben Probe machen; dann allein ist ein directer Vergleich der Eigenschaften überzeugend. Bei der Turmalingruppe ist dies nicht möglich. Man muß sich also wenigstens auf annähernd identisches Material beschränken.

Die besonderen Fragen, welche wir im folgenden behandeln, sind dreierlei:

1) es soll die von Penfield und Foote vorgeschlagene Formel an neuen Analysen geprüft werden;

2) es soll zu ermitteln versucht werden, ob bestimmte Formeln für das Mineral aufgestellt werden können;

3) es soll eine Beziehung zwischen der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Eigenschaften des Turmalins ermittelt werden.

Es ist vielleicht nicht überflüssig zu erwähnen, daß die analysierten Proben sorgfältig ausgewählt wurden; von der Reinheit überzeugten wir uns, soweit dies nur möglich war. Gewöhnlich wurde das specifische Gewicht der analysierten Proben mit Thoulet'scher Lösung bestimmt, unter Angabe eines oberen und unteren Grenzwertes; nur beim schwarzen Turmalin von Ramona benutzten wir die Methode der directen Wägung.

---

1) Diese Zeitschr. **36**, 538.

Auf das Turmalinproblem kam ich aus Anlaß einer Untersuchung »über die edlen Turmaline im südlichen Californien«. Die Arbeit wurde im chemischen Laboratorium der U. S. A. Geological Survey begonnen und im Mineralogischen Institut der Universität München beendet. Zu Dank bin ich verpflichtet den Herren Prof. F. W. Clarke, W. F. Hillebrand und Prof. P. v. Groth.

Bei allen mitgeteilten Analysen ist die Oxydationsstufe von Titan, Eisen und Mangan willkürlich angegeben; bei der Berechnung der Verhältnisse ist darauf Bezug genommen.

Das Titan fassen wir als Ti_2O_3 auf, isomorph mit Al_2O_3. Die Gründe hierfür haben bereits Penfield und Foote erörtert. Das Eisen nehmen wir als FeO, da der kleine Gehalt an Sesquioxyd wahrscheinlich secundärer Natur ist, zum Beispiel beim Pulverisieren. Vergl. hierüber diese Zeitschr. 48, 5. Das Mangan ist angegeben als MnO; in den roten Turmalinen, deren Gehalt daran übrigens gering ist, liegt vielleicht Mn_2O_3 vor, isomorph mit Al_2O_3.

Beschreibung der einzelnen untersuchten Turmaline.

1. Blaßrote Krystalle von Elba.

Eine kleine Quantität blaßroter Turmalinkrystalle bezog ich von der Foote-Mineral-Co. Sie schreibt darüber: Wir bezogen das ganze Material von Prof. Bombicci, welcher es vor einigen Jahren auf Elba sammelte. Stellenweise sind die Krystalle fast farblos oder es erscheint eine blaßgrüne oder blaßblaue Färbung. Die blaßroten Turmaline von Elba untersuchten wir aus Anlaß einer Arbeit über ähnliche Turmaline von Californien; die ältere Analyse von Rammelsberg schien anzudeuten, daß die Turmaline von Elba nur ganz wenig FeO, MnO, CaO und MgO enthielten, und daß darum hier eine der einfachsten Componenten der Turmalinreihe vorliege.

Für die Messung eigneten sich die Krystallflächen nicht sehr gut; sie waren matt und uneben. An zwei Krystallen erhielt ich ziemlich gute Reflexe mit folgenden Werten:

Krystall Nr. 1	$c : r = 27°10'$	c-Axe $= 0{,}4444$
	$c : r' = 27\ 12$	» $= 0{,}4451$
Krystall Nr. 2	$c : r = 27\ 11$	» $= 0{,}4448$
		Mittel $= 0{,}4448$

Die Messungen, welche D'Achiardi von ähnlichen Krystallen erhielt, schwanken, wie Wülfing feststellte, derart, daß sie für unsere Zwecke zu ungenau sind.

Die Dichte des analysierten Materials betrug 3,043—3,050, im Mittel 3,05. Rammelsberg teilt den etwas kleineren Wert 3,022 mit.

Die Brechungsindices bestimmte ich an zwei Krystallen für *Na*-Licht mit folgendem Ergebnis:

	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
Krystall Nr. 1	1,652	1,630	0,022
Krystall Nr. 2	1,650	1,630	0,020
Mittel:	1,651	1,630	0,021

Ähnliche Werte erhielten auch andere Autoren an Krystallen von Elba.

		ω	ε	$\omega - \varepsilon$
Viola[1])	gelbe Krystalle	1,6494	1,6239	0,0255
»	farblose »	1,6425	1,6215	0,0210
»	grüne »	1,6503	1,6254	0,0249
Zimányi[2])	farblose »	1,6386	1,6202	0,0184
D'Achiardi[3])	» »	1,641—1,644	1,622—1,623	0,019—0,021
D'Achiardi[4])	» »	1,642	1,622	0,020

Wie wir später sehen werden, sind diese besonderen Turmalinkrystalle von Elba in ihren Eigenschaften etwas verschieden von anderen, äußerlich ganz ähnlichen Krystallen.

Die chemische Untersuchung führte zu folgender Tabelle. Diese enthält an erster Stelle ein Verhältnis auf Grundlage des Wasserstoff-Äquivalentes von Penfield und Foote. Dann kommen die gewöhnlichen Molekularverhältnisse. Die Analyse zeigt einen ungewöhnlich hohen Gehalt an Thonerde; Rammelsberg fand jedoch an ähnlichem Material ganz das Gleiche (44,05 %).

	Analyse:		Wasserstoff-Äquivalente:		Molekularverhältnisse:
SiO_2	37,89	—	0,632	4,00	12,00
B_2O_3	10,28	—	0,147	0,93	2,79
Al_2O_3	43,85	2,580			8,76
Ti_2O_3	0,04	0,002			
FeO	0,11	0,003			
MnO	0,11	0,003			
CaO	0,07	0,003			
MgO	—	—	3,172	20,08	1,86
K_2O	—	—			
Na_2O	2,43	0,079			
Li_2O	1,66	0,111			
H_2O	3,47	0,386			3,72
F	0,10	0,005			
	100,01				
	— 0,04				
	99,97				

1) Diese Zeitschr. **32**, 557.
2) Ebenda **22**, 333.
3) Ebenda **26**, 213.
4) Ebenda **30**, 201.

Um abzukürzen, bezeichnen wir im folgenden die einzelnen Turmaline der Reihe nach mit Nr. 1, 2, 3 usw.

2. Rote Krystalle von Mesa Grande, Californien.

Die roten, durchsichtigen Krystalle aus der Himalaya-Grube, Mesa Grande, San Diego Co., habe ich selbst gesammelt; sie erscheinen als vorzügliches Material für die Untersuchung. Zwei Krystalle mit lebhaft glänzenden Endflächen wurden gemessen; für die c-Axe ergaben sich daraus folgende Werte:

Krystall Nr. 1	sechs Flächen	$\{21\bar{3}1\}$ . . .	$c = 0{,}4475$
» » 2	»	» »	$c = 0{,}4483$
		Mittel	$= 0{,}4479$

Die Dichte des analysierten Materials war 3,033—3,039, Mittel 3,04. Einige ergänzende Bestimmungen an ähnlichem Material ergaben folgendes: ein roter Krystall 3,038; rote Krystalle von Oak Grove, San Diego County, 3,033; roter Krystall von Pala 3,024.

Die Werte für die Lichtbrechung sind folgende:

	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
Krystall Nr. 1	1,648	1,628	0,020
» » 2	1,646	1,628	0,018
» » 3	1,645	1,628	0,017
» » 4	1,647	1,629	0,018
» » 5	1,648	1,628	0,020
Mittel	= 1,647	1,628	0,019

Die Analyse lieferte folgende Ergebnisse:

	Analyse:		Wasserstoff-Äquivalente:		Molekularverhältnisse	
SiO_2	37,57	—	0,623	4,00	12,00	
B_2O_3	10,65	—	0,152	0,97	2,91	
Al_2O_3	42,18	2,478			7,95	
Ti_2O_3	Spur	—				
FeO	0,19	0,006				
MnO	0,24	0,006				
CaO	1,20	0,042				
MgO	—	—	3,122	20,05	2,40	
K_2O	—	—				
Na_2O	2,05	0,066				
Li_2O	1,92	0,128				
H_2O	3,38	0,376			3,81	
F	0,39	0,020				
	99,77					
	— 0,17					
	99,60					

Ähnliche rote Krystalle von der Stewart-Grube, Pala, zeigen alle Stufen einer Umwandlung in eine thonige rote Masse, verwandt mit jener Substanz, welche man »Halloysit« nennt. Ein Teil des Materials behält seine Krystallform und die Streifung, ist jedoch so weich, daß man es leicht mit dem Messer schneiden kann. In jenen Teilen des Pegmatitganges, wo Bewegungen in der Gesteinsmasse stattgefunden haben — wahrscheinlich hervorgerufen durch die Volumenänderung bei der Umwandlung von Feldspat in Kaolin — wurde der umgewandelte rote Turmalin zerdrückt; es erfolgte eine Neuanordnung, sodaß er jetzt eine rote thonige Masse darstellt, in welcher von der ursprünglichen Structur nichts mehr zu erkennen ist. Dieses Material zerfällt in kaltem Wasser in Stücke, während die weichen Pseudomorphosen nicht zerfallen, selbst dann nicht, wenn man einige Stunden kocht. Im übrigen lassen sich die weichen Krystalle leicht zu Pulver zerreiben. Der Wassergehalt der weichen Krystalle beträgt 14,18 %; danach liegt also wohl ein Gemenge vor von 70 % Halloysit und 30 % unverändertem Turmalin, der in kleinsten Teilchen in der ganzen Masse zerstreut ist.

Die Analyse des thonigen Materials ohne Krystallform ergab folgendes:

SiO_2	43,62
Al_2O_3	35,55
Fe_2O_3	0,21
MnO	0,26
CaO	1,02
MgO	0,19
Li_2O	0,23
Na_2O	0,19
K_2O	0,03
H_2O (unter 110°)	6,63
H_2O (über 110°)	12,25
	100,18

Dies würde auf die Formel $H_4Al_2Si_2O_9 + H_2O$ stimmen; aber es bleibt wohl zweifelhaft, ob eine bestimmte Verbindung vorliegt.

3. Blaßgrüne Krystalle von Mesa Grande, Californien.

Die blaßgrünen Krystalle fand ich in Begleitung des eben beschriebenen roten Turmalins. Zur krystallographischen Untersuchung war das Material kaum geeignet. Ich konnte nur an einigen Krystallen ermitteln:

$c : r = 27°22'$ $c = 0,4483$
$c : r' = 27\ 26$ $c = 0,4495$
Mittel: $c = 0,4489.$

Dieser Wert wird etwas gestützt durch die Messung von blaßgrünen Krystallen aus der Stewart-Grube, die ihrerseits wieder nicht mehr aus-

reichten für eine chemische Analyse. Die übrigen Eigenschaften der Krystalle beider Vorkommen stimmen nahe überein. Darum dürfte auch der Wert der c-Axe für die Krystalle von Mesa Grande große Wahrscheinlichkeit besitzen.

Die Krystalle von Pala sind klein und glänzend. Abgesehen von der Prismenzone sind die Hauptformen: $\{07\bar{7}2\}$, $\{21\bar{3}1\}$, $\{10\bar{1}1\}$ und $\{02\bar{2}1\}$. Die Rhomboëder gaben ausgezeichnete Reflexe. Unter Einbeziehung des Complement-Winkels zur Prismenzone ergaben sich für die c-Axe folgende Werte:

c-Axe, blaßgrüne Krystalle, Stewart-Grube.

Krystall Nr.:	Zahl der Messungen:	Grenzen:	c-Axe:
1	9	0,4473—0,4500	0,4485
2	9	0,4482—0,4499	0,4492
3	5	0,4492—0,4513	0,4501
4	9	0,4485—0,4512	0,4495
5	6	0,4479—0,4502	0,4488
6	9	0,4486 —0,4521	0,4495
7	7	0,4473—0,4507	0,4489
8	3	0,4505—0,4507	0,4506
9	6	0,4487—0,4505	0,4495
10	8	0,4482—0,4502	0,4492
		Mittel =	0,4493

Wie gut die Messungen miteinander stimmen, wenn ein Krystall gute Reflexe liefert, kann man ersehen aus den folgenden Messungen an Krystall Nr. 4 von Pala:

$$(0001):(07\bar{7}2) = \begin{cases} 61^\circ 11' & 0{,}4498 \\ 61\ 08 & 0{,}4488 \\ 61\ 07 & 0{,}4485 \end{cases}$$

$$(0001):(02\bar{2}1) = \begin{cases} 46\ 07 & 0{,}4502 \\ 46\ 02 & 0{,}4489 \\ 46\ 02 & 0{,}4489 \end{cases}$$

$$(0001):(10\bar{1}0) = \begin{cases} 27\ 31 & 0{,}4512 \\ 27\ 26 & 0{,}4495 \\ 27\ 26 & 0{,}4495 \end{cases}$$

Mittel = 0,4495

Der Mittelwert für die c-Axe der Krystalle von Pala stimmt so nahe überein mit dem Wert der Krystalle von Mesa Grande, 0,4493, bezw. 0,4489, daß wir auch letzteren als hinreichend gesichert betrachten müssen. Ebenso sind die beiden Krystalle einander in Dichte und Lichtbrechung sehr ähnlich. Für die analysierten Krystalle von Mesa Grande ergab sich 3,040—3,046, Mittel: 3,04. Der Wert für die Krystalle von Pala ist 3,053.

Die folgende Tabelle enthält die Brechungsindices:

	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
Mesa Grande	1,646	1,628	0,018
Pala Nr. 1	1,646	1,628	0,018
» » 2	1,646	1,627	0,019
» » 3	1,647	1,628	0,019

Eine Analyse ausgewählter Krystallbruchstücke von Mesa Grande ergab:

	Analyse:		Wasserstoff-Äquivalente:		Molekularverhältnisse:
SiO_2	36,72	—	0,609	4,00	12,00
B_2O_3	10,60	—	0,151	0,99	2,97
Al_2O_3	41,27	2,423			7,98
Ti_2O_3	0,06	0,003			
FeO	1,13	0,032			
MnO	1,48	0,042			
CaO	0,87	0,028			
MgO	—	—	3,102	20,37	2,85
K_2O	—	—			
Na_2O	2,23	0,072			
Li_2O	1,76	0,116			
H_2O	3,33	0,370			3,81
F	0,31	0,016			
	99,76				
	— 0,13				
	99,63				

4. Grüne Krystalle von Haddam Neck, Connecticut.

Diese Krystalle haben bereits Penfield und Foote[1]) untersucht. Ersterer hat sie uns kurz vor seinem Tode übersandt, und zwar gerade jenen Teil, von welchem sein Analysenmaterial stammte. Leider fanden wir keine für eine krystallographische Untersuchung geeigneten Krystalle. Die Dichte des analysierten Materials ist 3,089, also kurz 3,09. Die Lichtbrechung bestimmten wir an zwei Krystallen, einem hellgrünen und einem tiefgrünen.

	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
hellgrün	1,649	1,630	0,019
tiefgrün	1,652	1,631	0,021
Mittel:	1,651	1,631	0,020

Der Analyse von Penfield und Foote entnehmen wir folgende Verhältniszahlen:

1) Diese Zeitschr. **31**, 321.

SiO_2	12,00
B_2O_3	3,06
Al_2O_3	7,56
RO	3,39
H_2O	3,93

5. Blaue Krystalle von Pala, Californien.

Einige winzige blaue Krystalle konnte ich in der Pala-Chief-Grube sammeln; sie ergaben im allgemeinen gute Reflexe an allen Flächen des Grundrhomboëders. Winkel und Complementwinkel konnte ich an 12 Krystallen 24mal messen. Der Mittelwert ist $c : r = 27^0 27'$, $c = 0{,}4499$. Grenzwerte: $27^0 19'$—$27^0 38'$, $c = 0{,}4473$—$0{,}4534$.

Die Dichte ist 3,110—3,114, Mittel: 3,11. Ein Krystall lieferte folgende Brechungsindices:

$$\omega = 1{,}650 \qquad \varepsilon = 1{,}630 \qquad \omega - \varepsilon = 0{,}020.$$

Für die Analyse reichte das Material leider nicht aus. Deswegen nehmen wir Bezug auf eine solche von Scharizer[1]) an ähnlichem Material. Die Dichte dieses blauschwarzen Turmalins wird zu 3,103 angegeben, was den Krystallen von Pala sich nähert.

Folgende Tabelle enthält die Analyse von Scharizer:

SiO_2	36,38	12,00
B_2O_3	(8,12)	2,31
Al_2O_3	39,77	7,71
FeO	4,17	
MnO	2,83	
Na_2O	1,93	3,72
K_2O	0,93	
Li_2O	1,54	
H_2O	4,29	4,71
SnO_2	0,04	—
	100,00	

Der Gehalt an Bor ist etwas niedrig, der Wassergehalt wahrscheinlich zu hoch. Das Verhältnis des Wasserstoff-Äquivalentes zu Kieselsäure, nach Penfield und Foote, ist 21,0 : 4 anstatt 20,0 : 4. Der hohe Wert ist wahrscheinlich verursacht durch den hohen Wert für Wasser.

6. Schwarze Krystalle von Ramona, Californien.

In der Surprise-Grube bei Ramona, San Diego Co., findet man große, schwarze Turmalinkrystalle auf Pegmatitgängen. Man kann hier drei Phasen

1) Diese Zeitschr. **15**, 344.

des Turmalins unterscheiden; das Mineral ist einerseits fast ganz in dichten, schuppigen Muscovit umgewandelt; bei einem Teil erscheint unveränderter schwarzer Turmalin, bedeckt mit prismatischen Krystallen von Muscovit, welche offenbar keine Beziehung zu dem Turmalin hinsichtlich ihrer Entstehung zeigen; bei einer dritten Art liegen glänzend schwarze Krystalle vor, gewöhnlich mit Endflächen und ohne ein anhaftendes Mineral. Für die Messung konnten wir zwei Krystalle isolieren, aber auf dem Goniometer gab jede Rhomboëderfläche, obwohl ganz glatt, zwei deutliche Reflexe, fast um einen Grad voneinander abweichend. Eine Reihe von Werten lieferte eine c-Axe, entsprechend dem Wert für die Krystalle von Elba. Der zweite Wert war ungewöhnlich hoch, nämlich 0,4647. Vorläufig müssen wir das Mittel der beiden Werte als den wahren Wert für die c-Axe gelten lassen. Die Messungen sind folgende:

		1.	2.	Mittel:
Krystall Nr. 1	$c:r$	$= 27^0\,03'$	$28^0\,15'$	$27^0\,39'$
	$c:r'$	$= 26\ 52$	$28\ 05$	$27\ 29$
	$c:r''$	$= 26\ 59$	$28\ 13$	$27\ 36$
Krystall Nr. 2	$c:r$	$= 27\ 10$	$28\ 17$	$27\ 44$
	$c:r'$	$= 27\ 17$	$28\ 14$	$27\ 46$
	$c:r''$	$= 26\ 58$	$28\ 14$	$27\ 36$
			Mittel:	$27^0\,38'$

Aus dem mittleren Winkelwert $c:r$ berechnet sich $c = 0{,}4534$. Die Dichte des einen der beiden Krystalle ist 3,221. Den zweiten Krystall zerbrachen wir in zwei Stücke. Das Ende mit Endflächen (Dichte 3,225) wurde aufgehoben, der Rest des Krystalls (Dichte 3,222) diente zur Analyse. Der mittlere Wert der Dichte ist also 3,22.

Die Lichtbrechung konnten wir für das Material von Ramona nicht bestimmen. Wir nehmen hierfür das Mittel aus den verschiedenen Bestimmungen von Wülfing an schwarzen Turmalinen mit ähnlich hoher Dichte.

	Spec. Gewicht:	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
Alabaschka	3,195—3,222	1,6624	1,6325	0,0299
Auburn D	3,208—3,214	1,6664	1,6368	0,0296
Haddam	3,220—3,221	1,6689	1,6378	0,0311
Andreasberg	3,240	1,6763	1,6428	0,0335
	Mittel:	1,669	1,638	0,031

Die Mittelwerte beziehen sich auf den schwarzen Turmalin von Ramona. Es ist jedoch zu bemerken, daß dessen chemische Zusammensetzung etwas schwankt; es liegt also eigentlich nicht genau die gleiche Varietät zugrunde.

Die Ergebnisse der chemischen Analyse sind folgende:

	Analyse:	Wasserstoff-Äquivalente:			Molekularverhältnsise:
SiO_2	35,21	—	0,584	4,00	12,00
B_2O_3	10,43	—	0,149	1,02	3,06
Al_2O_3	36,07	2,118			7,29
Ti_2O_3	0,23	0,010			
FeO	11,11	0,308			
MnO	0,98	0,028			
CaO	0,25	0,008			
MgO	0,19	0,009	2,933	20,09	4,29
K_2O	—	—			
Na_2O	1,92	0,062			
Li_2O	Spur	—			
H_2O	3,51	0,390			4,02
F	—	—			
	99,90				

7. Schwarze Krystalle von Lost Valley, Californien.

Diese Krystalle erhielt ich von Herrn Bert. Simmons. Dieser fand sie in losen Krystallen im Boden, herrührend vom zersetzten Granit, im Lost Valley, San Diego Co. Es sind glänzende schwarze Nadeln; trotz der Undurchsichtigkeit erscheinen sie ganz rein. Für die Messung geeignete Krystalle waren nicht darunter.

Die Dichte ist 3,154—3,157, Mittel: 3,16.

Die analytischen Ergebnisse sind:

	Analyse:	Wasserstoff-Äquivalente:			Molekularverhältnisse:
SiO_2	35,96	—	0,596	4,00	12,00
B_2O_3	10,61	—	0,151	1,01	3,03
Al_2O_3	33,28	1,954			6,63
Ti_2O_3	0,36	0,005			
FeO	11,04	0,307			
MnO	0,13	0,004			
CaO	0,42	0,015			
MgO	3,48	0,174	2,897	19,44	5,73
K_2O	—	—			
Na_2O	2,16	0,070			
H_2O	3,31	0,368			
F	—	-			3,72
	100,75				

Die früher beschriebenen Krystalle von anderem Vorkommen.

Die weiterhin beschriebenen Turmaline wurden auch von anderer Seite schon beschrieben; die Untersuchungsergebnisse zusammen sollen, soweit sie in Betracht kommen, sich gegenseitig ergänzen. Die wichtigsten Eigenschaften für die verschiedenen Vorkommen sind in folgender Tabelle nach Wülfing zusammengestellt.

Turmalin Nr.:	Fundort:	c-Axe:	Spec. Gewicht:	ω	ε	$\omega - \varepsilon$
8	de Kalb	0,4513	3,05	1,633	1,614	0,019
9	Pierrepont	0,4521	3,12	1,658	1,633	0,024
10	Hamburg	0,4511	3,07	1,638	1,618	0,020
11	Brazil D	—	3,20	1,662	1,633	0,029
12	Haddam	—	3,22	1,669	1,638	0,031
13	Monroe[1])	—	—	—	—	—
14	Orford[1])	—	—	—	—	—
15	Alabaschka	—	3,22	1,662	1,632	0,030
16	Auburn D	—	3,21	1,666	1,637	0,029

Die Molekularverhältnisse wurden für die obigen neun Turmaline neu berechnet mit folgendem Ergebnis:

Nr.	Fundort:	Analytiker:	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	$RO(+R_2O)$	H_2O
8	de Kalb	Penfield-Foote	12,00	3,03	5,70	9,00	3,72
9	Pierrepont	Riggs	12,00	2,94	5,08	9,75	3,93
10	Hamburg	»	12,00	3,06	5,82	9,90	3,96
11	Brazil D	»	12,00	2,88	6,69	6,18	4,08
12	Haddam	»	12,00	2,94	6,36	6,90	4,17
13	Monroe	»	12,00	2,73	6,27	6,96	4,20
14	Orford	»	12,00	2,85	6,36	7,05	4,14
15	Alabaschka	Jannasch-Kalb	12,00	2,67	6,75	5,73	4,05
16	Auburn D	Riggs	12,00	2,85	6,87	5,43	4,17

Die allgemeine chemische Formel der Turmaline.

Vor Aufstellung einer chemischen Formel wollen wir jene von Penfield und Foote auf Grund unserer neuen Analysen prüfen. Aus den Werten für das Wasserstoffverhältnis berechnet sich folgende Tabelle:

1) Die beiden Turmaline von Monroe und Orford sind in ihren physikalischen Eigenschaften nicht bekannt. Nach den analytischen Ergebnissen füllen sie offenbar neben Nr. 12 einen offenen Platz im Diagramm (Fig. 1) aus. Wider Erwarten kamen diese drei fast an dieselbe Stelle.

Nr.	Fundort:	Si_2O	B_2O_3	Total Wasserstoff-Äquivalent:
1	Elba, rot	4,00	0,93	20,08
2	Mesa Grande, rot	4,00	0,97	20,05
3	Mesa Grande, grün	4,00	0,99	20,37
6	Ramona, schwarz	4,00	1,02	20,09
7	Lost Valley, schwarz	4,00	1,01	19,44
			Mittel:	20,01

Die allgemeine Formel $H_{20}B_2Si_4O_{21}$, welche Penfield und Foote aufgestellt haben, wird also bekräftigt und endgültig festgestellt. Das Verhältnis 4 : 1 für $SiO_2 : B_2O_3$ wird in gleicher Weise bestätigt durch die Analysen der Turmaline von Californien und jener von Elba; der sich ergebende Mittelwert ist 4,00 : 0,98.

Nun erörtern wir die Frage nach dem Gehalt an Wasser, bezw. Wasser + Fluor. Die Verhältnisse Kieselsäure : Wasser + Fluor für die 16 Analysen sind folgende:

Nr. Turmalin:	Analytiker:	SiO_2	$H_2O(+\frac{1}{2}F)$	Differenz von 4
1	Schaller	12,00	3,72	— 0,28
2	»	12,00	3,81	— 0,19
3	»	12,00	3,81	— 0,19
4	Penfield-Foote	12,00	3,93	— 0,07
5	Scharizer	12,00	4,71	+ 0,71
6	Schaller	12,00	4,02	+ 0,02
7	»	12,00	3,72	— 0,28
8	Penfield-Foote	12,00	3,72	— 0,28
9	Riggs	12,00	3,93	— 0,07
10	»	12,00	3,96	— 0,04
11	»	12,00	4,08	+ 0,08
12	»	12,00	4,17	+ 0,17
13	»	12,00	4,20	+ 0,20
14	»	12,00	4,14	+ 0,14
15	Jannasch-Kalb	12,00	4,05	+ 0,05
16	Riggs	12,00	4,17	+ 0,17

Wir wollen von Analyse Nr. 5 (mit der Ziffer 4,71) absehen, deren Wert ohne Zweifel zu hoch ist. Dann ergibt sich ein Mittelwert von 3,96, also sehr nahe 4. Bei manchen Analysen jedoch ist der Wassergehalt bedeutend kleiner als hier, obwohl die Bestimmungen sehr sorgfältig und genau gemacht wurden, z. B. Nr. 8 nach Penfield-Foote. Es scheint darum besser, vorerst anzunehmen, daß in jedem Turmalin auf zwölf Teile Kieselsäure nur drei Teile Wasser treffen und den Rest des Wassers zu

den anderen Basen zu stellen. Es kann sich in Zukunft ergeben, daß vier Teile Wasser immer vorhanden sind; aber für uns ist es gegenwärtig keine sehr wichtige Frage.

Ferner vorerst noch einige Worte über »feste Lösungen«. Die Bedingungen für die Bildung des Turmalins sind jedenfalls äußerst günstig für die Entstehung complexer Verbindungen. Die Turmaline auf Pegmatitgängen sind jene Mineralien, welche sich zuerst bilden; im Magma findet sich die größte Zahl der chemischen Elemente, welche den wachsenden Krystallen zur Verfügung steht. Die Möglichkeit, Elemente, welche in ihrer Art oder Menge nicht dem reinen Mineral zukommen, als feste Lösung einzuschließen, ist ebenfalls sehr groß. Der große Wechsel in der Färbung ist in erster Linie ein Hinweis auf die große Leichtigkeit, mit welcher beim Wachsen der Krystall seine Zusammensetzung ändern kann. Ein homogen gefärbter Krystall kann in Wirklichkeit sehr unhomogen sein, ohne das man für eine Verschiedenheit eine Andeutung hätte. Wenn ein Turmalin bei metamorphen Processen entsteht, dann ist in gleicher Weise die Zahl der vorhandenen Elemente sehr groß; die Möglichkeit für die Entstehung einer complicierten Verbindung ist ebenfalls sehr groß.

Manche Elemente finden sich nur in einzelnen Varietäten des Turmalins und nur in geringer Menge. Für diese Elemente kann man in erster Linie den Begriff der festen Lösung heranziehen. Es sind dies Lithiumoxyd Li_2O, Kalk CaO, Kaliumoxyd K_2O und Natriumoxyd Na_2O. Das letztere findet man zwar in jedem Turmalin, aber in ganz wechselnder Menge.

Es erscheint am natürlichsten, diese Basen in der Form ihrer beständigsten Salze »gelöst« anzunehmen. Mit Rücksicht auf die Bildungsbedingungen sind die Verbindungen, welche als feste Lösungen für diese Elemente in Frage kommen, die folgenden:

für Lithium:	Spodumen	$Li_2O.Al_2O_3.4\,SiO_2$,
» Kalk:	Granat	$3\,CaO.Al_2O_3.3\,SiO_2$,
» Natron:	Albit	$Na_2O.Al_2O_3.6\,SiO_2$.

Unter der Annahme solcher festen Lösungen wollen wir den grünen Turmalin von Connecticut (Penfield und Foote) erörtern. Die auf S. 335 oben stehende Tabelle enthält die dazu nötigen Verhältniszahlen.

Die sich ergebenden Ziffern sprechen von selbst für die Unmöglichkeit unserer Annahme. Der Rest (d. i. der reine Turmalin) liefert eine Verbindung, welche nur etwas mehr SiO_2 molekular enthält als B_2O_3; das Verhältnis 4 : 1 wird jedoch allgemein angenommen. Eine andere Annahme für eine feste Lösung wäre, daß die Basen als solche und nicht in der Form von Salzen gelöst sind. Für diese Anschauung ist jedoch gar kein Beweis beizubringen; im Gegenteil, die Pegmatite, auf welchen sich die Turmaline finden, besitzen immer überschüssige Säure (Kieselsäure).

	Verhältnisse:	Albit:	Spodumen:	Granat:	Total feste Lösung:	Reste (Turmalin):	
SiO_2	0,616	0,204	0,220	0,023	0,447	0,169	
B_2O_3	0,157	—	—	—	—	0,157	
Al_2O_3	0,388	0,034	0,055	0,008	0,097	0,291	
FeO	0,030	—	—	—	—	0,030	0,062
MnO	0,028	—	—	—	—	0,028	
CaO	0,023	—	—	0,023	0,023	—	
MgO	0,004	—	—	—	—	0,004	
Na_2O	0,034	0,034	—	—	0,034	—	
Li_2O	0,055	—	0,055	—	0,055	—	
H_2O	0,202	—	—	—	—	0,202	

Die Gleichmäßigkeit der Verhältniszahlen aller Basen : Kieselsäure (20 : 4 nach Reduction auf das Wasserstoff-Äquivalent, entsprechend Penfield und Foote) muß als deutlicher Beweis gegen die Annahme einer festen Lösung gelten. Einer solchen festen Lösung kommt also beim Turmalin keine Bedeutung zu. Alle Basen, welche die Analysen zeigen, sind also wesentliche Teile des Turmalins.

Der Wechsel in der Zusammensetzung zeigt, daß hier eine Mineralgruppe vorliegt, bestehend aus einer Anzahl von Componenten. Wir haben also bei der weiteren Untersuchung diese Componenten aufzusuchen. Dies kann nur geschehen durch Betrachtung der Änderungen in der Zusammensetzung; man muß suchen, in welcher Art die gegenseitige Ersetzung erfolgt. Um die Beziehungen zwischen den physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung ausfindig zu machen, habe ich zu den von mir selbst untersuchten Arten noch die gesamten Ergebnisse anderer Autoren hinzugenommen, soweit hinreichend reines Material in Frage kommt. Leider war die letztere Zahl nicht sehr groß.

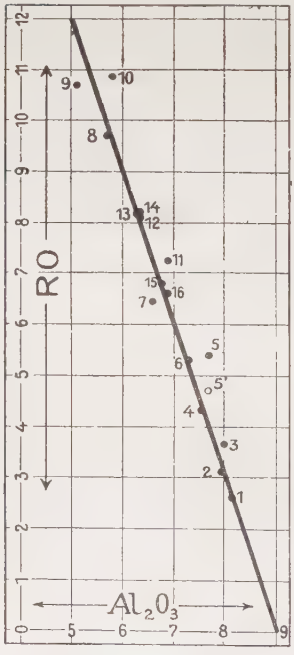
Die folgende Tabelle enthält die Molekularverhältnisse der 16 Turmalinanalysen. Kieselsäure ist gleich 12,00 gesetzt, Wasser gleich 3,00; der Überschuß des letzteren ist den übrigen Basen zugezählt; dabei ist RO = FeO, MnO, CaO, MgO, K_2O, Li_2O, Na_2O, H_2O (Überschuß).

Turmalin-Nr.:	SiO_2	B_2O_3	H_2O	Al_2O_3	RO
1	12,00	2,79	3,00	8,16	2,58
2	»	2,91	»	7,95	3,21
3	»	2,97	»	7,98	3,66
4	»	3,06	»	7,56	4,32
5	»	2,31	»	7,71	5,43
6	»	3,06	»	7,29	5,31

Turmalin-Nr.:	SiO_2	B_2O_3	H_2O	Al_2O_3	RO
7	12,00	3,03	3,00	6,61	6,45
16	»	2,85	»	6,87	6,60
15	»	2,67	»	6,75	6,78
11	»	2,88	»	6,69	7,26
12	»	2,94	»	6,36	8,07
13	»	2,73	»	6,27	8,16
14	»	2,85	»	6,36	8,19
8	»	3,03	»	5,70	9,72
9	»	2,94	»	5,10	10,68
10	»	3,06	»	5,82	10,86

Man sieht deutlich, wie die Werte für Al_2O_3 abnehmen, wenn der Wert für RO größer wird und umgekehrt. Bei entsprechender Veränderung sollte die Summe gleich bleiben.

Fig. 1.



Die folgende Tabelle enthält die jeweilige Summe der Verhältniszahl $Al_2O_3 + \frac{1}{3}RO$.

Turmalin-Nr.:	$Al_2O_3 + \frac{1}{3}RO$
1	9,02
2	9,02
3	9,20
4	9,00
5	9,52
6	9,06
7	8,76
8	9,07
9	9,01
10	9,11
11	9,05
12	8,99
13	9,09
14	8,94
15	8,66
16	9,44

Man sieht, die Summe ist immer fast constant. Mann kann diese Beziehung graphisch darstellen in der Form einer geraden Linie. In Fig. 1 sind die Werte für Al_2O_3 und RO graphisch aufgetragen; die Punkte fallen mit guter Annäherung in eine Gerade.

Der Wassergehalt des blauschwarzen Turmalins (Nr. 5, Scharizer) ist ungewöhnlich hoch. Ändert man ihn entsprechend dem allgemeinen

Mittelwert der übrigen 15 Analysen, dann fällt Punkt 5′ (durch einen offenen Kreis dargestellt) näher mit der Geraden zusammen.

Aus Fig. 1 kann man die Endcomponenten des Turmalins bestimmen. Wir sehen zunächst vom Turmalin von Elba mit seinen ungewöhnlichen Eigenschaften ab. Dann müssen wir folgende beiden Componenten in Turmalin annehmen:

1) $12SiO_2.3B_2O_3.8Al_2O_3.\ 3RO.3H_2O$,
2) $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12RO.3H_2O$.

$R = Fe''$, Mn'', Ca, Mg, K_2, Na_2, Li_2, H_2.

Die erste Componente ist nahezu dargestellt durch den roten sogen. Lithium-Turmalin (Nr. 2); die zweite Componente bilden die Magnesia-, Eisen- und Kalk-Turmaline von Pierrepont und Hamburg (Nr. 9 und 10). Der Turmalin von Elba (Nr. 1) verhält sich abnorm. Für die Deutung seiner Zusammensetzung müssen wir eine dritte, noch thonerdereichere Componente annehmen, nämlich:

$$12SiO_2.3B_2O_3.9Al_2O_3.3H_2O.$$

Bis jetzt hat man keinen Turmalin analysiert, in welchen *Fe*, *Mn*, *Ca*, *Mg*, *K*, *Na*, *Li* ganz fehlen. Die dritte Verbindung ist daher nur notwendig für die Deutung des Turmalins von Elba. Anstatt nur zwei oder drei Formeltypen, könnte man folgende Componenten in Vorschlag bringen:

$12SiO_2.3B_2O_3.9Al_2O_3.\quad 3H_2O$
$12SiO_2.3B_2O_3.8Al_2O_3.\ 3RO.3H_2O$
$12SiO_2.3B_2O_3.7Al_2O_3.\ 6RO.3H_2O$
$12SiO_2.3B_2O_3.6Al_2O_3.\ 9RO.3H_2O$
$12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12RO.3H_2O$
$12SiO_2.3B_2O_3.4Al_2O_3.15RO.3H_2O$
usw.

Diese sind nicht alle nötig, aber eine weitere Formel, zwischen den beiden erstgenannten liegend, müssen wir benutzen.

Je nach dem Gehalt an Magnesium kann man die Turmaline in zwei Gruppen einreihen. Die krystallographischen und physikalischen Eigenschaften von Turmalinen erscheinen nicht als eine lineare Function der Zusammensetzung sondern als zwei solcher Functionen.

Die verschiedenen Eigenschaften der magnesiumfreien Turmaline (Nr. 1 bis 6) kann man ausdrücken als eine lineare Function der Zusammensetzung. Ebenso ist dies der Fall bei den Eigenschaften der Magnesiaturmaline (Nr. 7 bis 15). Die beiden Geraden verlaufen jedoch nicht continuierlich. Vergl. Fig. 2a, 2b, 2c (S. 341 f.). Wir müssen darum für die Zusammensetzung des Turmalins eine Formel einführen, welche zwischen den beiden Componenten liegt. Nach dem Diagramm (Fig. 1) ist dies:

$$12SiO_2 . 3B_2O_3 . 7Al_2O_3 . 6RO . 3H_2O.$$

Wir haben also drei oder unter Einschluß des Turmalins von Elba vier Formeln, mittelst deren wir die Zusammensetzung des Turmalins ausdrücken können. In allen diesen Formeln sind die Basen vom Typus FeO und Na_2O unter dem allgemeinen Symbol RO zusammengefaßt. Für die einzelnen Elemente ist dann die speciellere Bezeichnung einzusetzen.

Bei den Turmalinen, welche sich den Formeln $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 8Al_2O_3 . 3RO . 3H_2O$ nähern, sind unter RO im wesentlichen Li_2O, Na_2O und H_2O (d. i. der Überschuß des Wassers über drei Moleküle) zu verstehen. Untergeordnete Bestandteile sind FeO, MnO, CaO, K_2O und F_2.

Die speciellen Formeln, welche also die Zusammensetzung der Lithiumturmaline ausdrücken (einschließlich des Turmalins von Elba) sind unter Vernachlässigung von FeO usw. die folgenden vier:

1) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 9Al_2O_3 . \quad 3H_2O$
2) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 8Al_2O_3 . 3Li_2O . 3H_2O$
3) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 8Al_2O_3 . 3Na_2O . 3H_2O$
4) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 8Al_2O_3 . 3H_2O . 3H_2O.$

Sollte sich der Wassergehalt aller Turmaline wirklich dem Verhältnis $4 : 12(SiO_2)$ statt $3 : 12$ nähern, dann wäre Formel 4, natürlich überflüssig.

Bei den Magnesiaturmalinen sind die herrschenden Basen vom Typus RO die folgenden: MgO, FeO, CaO, Na_2O und H_2O. Der Gehalt an Natron (auch Kali) sinkt mit abnehmendem Thonerdegehalt. Man sieht dies besonders aus den folgenden fünf Analysen von Riggs, welche den niedrigsten Gehalt an Thonerde sowie an Natron haben von allen Turmalinen, die von Riggs analysiert wurden.

Fundort:	Kleinster Thonerdegehalt:	TiO_2 [1]	Kleinster Alkaligehalt: Na_2O	K_2O
Stony Point	30,49	0,40	1,76	0,15
Gouverneur	27,79	1,19	1,72	0,16
Pierrepont	25,29	0,55	1,51	0,20
de Kalb	28,87	0,12	1,39	0,18
Hamburg	28,49	0,65	0,94	0,18

Man könnte danach meinen, daß in den Magnesiaturmalinen auch die obige Natronformel sich wiederhole, aber die Rechnung ergibt, daß man bei den Magnesiaturmalinen eine andere Natroncomponente annehmen muß. Für die Magnesiaturmaline ergeben sich also unter den oben gemachten Voraussetzungen folgende fünf Formeln:

1) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 5Al_2O_3 . 12MgO . 3H_2O$
2) $12SiO_2 . 3B_2O_3 . 5Al_2O_3 . 12FeO . 3H_2O$

1) Als Ti_2O_3 anzusehen und dem Thonerdegehalt zuzurechnen.

3) $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12CaO.3H_2O$
4) $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12Na_2O.3H_2O$
5) $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12H_2O.3H_2O.$

Bei dem Versuch, die Formel des schwarzen Turmalins von Ramona zu berechnen, war es unmöglich, die Zusammensetzung als eine Mischung der beiden Formeltypen:

$$\begin{cases} 12SiO_2.3B_2O_3.8Al_2O_3.3RO.3H_2O. \\ 12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12RO.3H_2O. \end{cases}$$

aufzufassen. Rechnet man alles Na_2O und H_2O zum ersten Typus und $FeO + MnO + CaO + MgO$ zum zweiten, dann ist die gesamte Menge Thonerde zu klein für das der Analyse entsprechende Verhältnis. Man muß also unter die Basen RO im »Lithium-Thurmalin« etwa noch FeO oder CaO rechnen oder einen neuen Typ einführen, welcher zwischen den angeführten Formeltypen liegt. Wir erhielten oben schon auf Grund des Diagramms von Fig. 1 diese Formel, nämlich:

$$12SiO_2.3B_2O_3.7Al_2O_3.6RO.3H_2O,$$

wobei RO fast ganz aus FeO besteht.

Die Zusammensetzung des Turmalins von Ramona kann man also als Mischung der folgenden drei Componenten auffassen:

1) $12SiO_2.3B_2O_3.8Al_2O_3.3H_2O.3H_2O.$
2) $12SiO_2.3B_2O_3.7Al_2O_3.6FeO.3H_2O.$
3) $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12Na_2O.3H_2O.$

Vielleicht ist auch eine andere Deutung noch möglich; aber den dritten Formeltypus müssen wir einführen.

Dieses Beispiel soll genügen, um darzutun, daß eine große Zahl von Componenten bei der Deutung der Zusammensetzung des Turmalins heranzuziehen ist. Die geringste Zahl ist 10 oder höchstens 8 für den Fall, daß das Verhältnis $H_2O : SiO_2 = 4 : 12$. Bei weiteren Berechnungen von Analysen würde die Zahl vielleicht sich als zu klein erweisen.

Die hier abgeleiteten Formeln haben schon andere Autoren aufgestellt. Riggs leitete zwei der allgemeinen Formeln ab und kam der dritten sehr nahe. Wülfing[1]) erhielt zwei Formeln, als deren Mischung die Turmaline erscheinen und discutierte die wahrscheinliche Notwendigkeit einer dritten. Zwei von meinen Formeln sind damit identisch. Ich habe aber gezeigt, daß wenigstens vier allgemeine Formeln nötig sind. Wenn in diese Formeln die einzelnen Basen eingesetzt werden, welche in den Turmalinen vorkommen, so wäre eine viel größere Zahl nötig.

1) Diese Zeitschr. **15**, 440.

Beziehung zwischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung.

Allgemeine Erörterung.

Im Mineral Turmalin müssen wir also die Mischung einer großen Zahl von Componenten sehen. Keine der Componenten fand sich rein in der Natur oder ist künstlich hergestellt worden. Ihre Eigenschaften sind also unbekannt. Dies bedeutet natürlich eine große Schwierigkeit bei der Frage nach dem Wechsel der Eigenschaften in Abhängigkeit vom chemischen Bestand, wobei die große Zahl der Componenten noch besonders sich geltend macht. Danach sollte eine Eigenschaft nicht als continuierliche Function erscheinen, da schon die Einführung einer einzigen Componente (z. B. $12SiO_2.3B_2O_3.5Al_2O_3.12CaO.3H_2O$) eine beträchtliche Änderung in verschiedenem Sinne hervorrufen kann. Trotz dieser Unsicherheiten können wir doch die physikalischen Eigenschaften in einer Weise verfolgen, um sie in Beziehung zur chemischen Zusammensetzung zu setzen.

Jede Turmalinart kann man, je nach dem Gehalt des Magnesium, einer von zwei Gruppen zuzählen. Bei vielen Analysen, auf deren Ausführung besondere Sorgfalt verwendet wurde, ergab sich der Gehalt an Magnesia als gering oder null. Unsere Klassification ist zwar eine willkürliche, sie ist jedoch in mehrfacher Hinsicht gerechtfertigt. Ein solcher Umstand sind Vorkommen und Paragenesis.

Die magnesiumfreien Turmaline findet man in Granitpegmatiten; Begleiter sind Quarz, Albit, Orthoklas, Mikroklin, Muscovit, Granat, häufig Lepidolith, Beryll, Spodumen usw. Hierher rechnen wir die blauschwarzen Turmaline mit hohem Gehalt an Eisen, den blauen Indigolith, die grünen, roten und farblosen Varietäten (die sog. Lithium-Turmaline). Charakteristisch ist in chemischer Hinsicht nur die Abwesenheit von MgO.

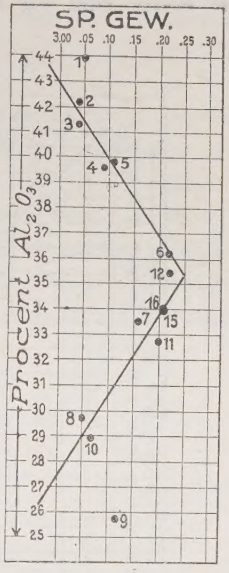
Die Magnesium-Turmaline andererseits findet man selten auf Pegmatitgängen (der Gehalt an Magnesia ist dann gering), sondern gewöhnlich in metamorphen Gesteinen, so in Schiefern, metamorphen Kalksteinen usw. Begleiter sind hier Quarz, Biotit, Phlogopit, Augit, Plagioklas, Tremolit usw. Die Farbe ist schwarz oder braun, selten heller.

Beim Vergleich der physikalischen Eigenschaften müssen wir zuerst eine Basis in chemischer Hinsicht ermitteln. Fig. 1 zeigt graphisch, daß ein reciprokes Verhältnis besteht für alle Turmaline zwischen Al_2O_3 und RO. Al_2O_3 erscheint als einzelner Component gegenüber den zahlreichen Basen in RO; darum benutzen wir als beste Grundlage den Gehalt an Al_2O_3. Wir haben hierfür einen maximalen Wert in den Lithium-Turmalinen — ungefähr 44 % —, frei von Eisen und Magnesia. Den kleinsten Wert — ungefähr 26 % — zeigen jene Varietäten, welche den höchsten Gehalt an Magnesia und Kalk besitzen.

Specifisches Gewicht.

Die im Laufe der Untersuchung erhaltenen Werte finden sich graphisch dargestellt in Fig. 2a. Die Dichte der magnesiumfreien Turmaline nimmt zu mit abnehmendem Thonerdegehalt und zunehmendem Gehalt an FeO, während die anderen Basen sich nur in den eisenreichsten Turmalinen ändern, in welchen Lithium so gut wie ganz fehlt. Die Änderung ist im Diagramm (Fig. 2a) durch die obere Linie angedeutet. Die untere Linie zeigt die Abnahme der Dichte in Abhängigkeit vom Gehalt an Thonerde für die Magnesium-Turmaline. Die kleinste Dichte bei einem Magnesium-Turmalin ist nur um ein geringes höher als bei den magnesiumfreien.

Fig. 2a.



Dem Turmalin Nr. 1 von Elba kommt eine abnorme Stellung zu. Dieses rührt ohne Zweifel von der ungewöhnlichen Zusammensetzung her, welche in der besonderen Componente $12SiO_2.3B_2O_3.9Al_2O_3.3H_2O$ zum Ausdruck kommt. Turmalin Nr. 9 (Pierrepont) erhält ebenfalls eine abnorme Stellung in dem unteren Teile der Fig. 2a, weil er wahrscheinlich ebenfalls eine ungewöhnliche Componente enthält. Die übrigen Beispiele fallen ganz gut auf zwei Linien (vergl. Fig. 2a), welche man auch zu einer Curve vereinigen könnte. Aber ich habe die Gerade vorgezogen, weil diese klar zeigt, ob die Änderung in directer Beziehung zur Zusammensetzung steht.

Die drei sich im besonderen ergebenden Werte für die Dichte des Turmalins zeigen folgende Tabelle:

Magnesiumfreie Turmaline	3,00—3,05	Kleinster Wert
	3,20—3,25	Größter Wert
Magnesium-Turmaline	3,20—3,25	Größter Wert
	3,05	Kleinster Wert.

c-Axe.

Leider sind die erhaltenen Werte nur in geringer Zahl in Beziehung zur chemischen Zusammensetzung zu bringen. Es sind dies für die Magnesia-Turmaline nur drei und einer davon ist noch der abnorme Turmalin von Pierrepont. Die Werte sind in Fig. 2b dargestellt. Der niedrigste bezieht sich auf die roten Lithium-Turmaline, der höchste auf die eisenreichen Varietäten. Beim Magnesia-Turmalin ist der Wert geringer, kommt aber dem der Lithium-Turmaline nicht vollständig nahe.

In der c-Axe finden wir ganz ähnliche Änderungen wie bei der Dichte. Ein definitives Ergebnis über den Betrag dieser Änderungen können erst umfangreichere Untersuchungen bieten.

Optische Eigenschaften.

In Fig. 2c sind die Werte der Brechungsindices graphisch eingetragen; die Werte sind für Lithium- und Magnesium-Turmalin nahezu gleich und

Fig. 2b.

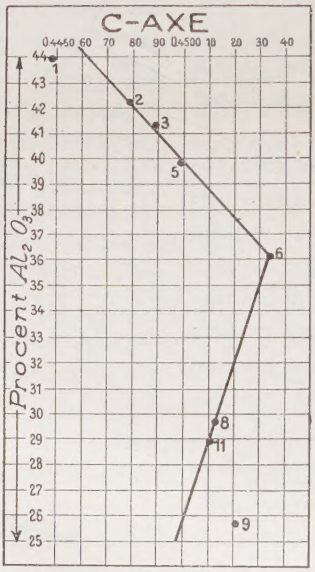
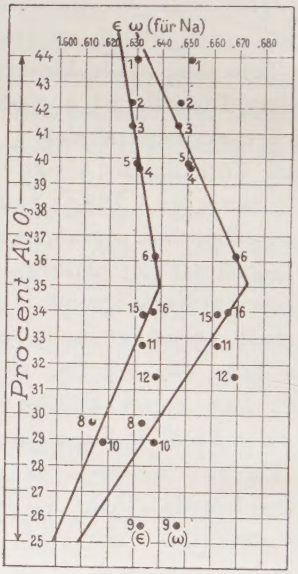


Fig. 2c.



stellen ein Minimum dar. Die höchsten Ziffern kommen den Turmalinen zu, welche besonders reich an Eisen sind.

Zusammenfassung.

Die Ergebnisse wollen wir noch kurz zusammenfassen. Wir haben die wichtigsten Eigenschaften einer Anzahl Turmaline beschrieben und deren chemische Zusammensetzung ermittelt. Dann suchten wir diese Zusammensetzung durch Formeln auszudrücken mit folgendem Ergebnis:

1) Die allgemeinen Formeln, welche Penfield und Foote vorgeschlagen haben, $H_{20}B_2Si_4O_{21}$, wurden bestätigt.

2) Einzelne Analysen ergeben nicht hinreichend Wasser für das Verhältnis $SiO_2 : H_2O = 12 : 4$, sondern für ein solches $12 : 3$.

3) Der Begriff der festen Lösung spielt beim Turmalin keine Rolle.

4) Der Gehalt an Al_2O_3 ändert sich in umgekehrtem Verhältnis des Gehaltes an *RO*.

5) Die Zusammensetzung des Minerals kann durch zwei, drei oder vier bestimmte Formeln allein nicht ausgedrückt werden. Man kann zwar allgemeine Formeln aufstellen, mindestens vier; die Zahl der bestimmten Formeln oder Componenten ist groß, nicht kleiner als acht, wahrscheinlich beträchtlich größer.

6) Die physikalischen Eigenschaften ändern sich mit der chemischen Zusammensetzung; die zahlenmäßigen Daten sind jedoch zur Ermittelung einer exacten Beziehung nicht ausreichend. Trotzdem kann man aus den Fig. 2a, 2b, 2c leicht erkennen, daß die Änderung in bezug auf die chemische Zusammensetzung immer in derselben Richtung und auch ungefähr um dieselbe Größe erfolgt. Der Schnittpunkt der beiden geraden Linien (oder das Maximum, wenn man die Geraden zu einer Curve vereinigen will) liegt bei 35—36 % Al_2O_3, und diejenigen Turmaline, welche in ihrer Zusammensetzung so viele Procente Thonerde enthalten, sollten den höchsten Wert des specifischen Gewichtes, der *c*-Axe, der Brechungsindices und der Doppelbrechung zeigen.

Lebenslauf.

Ich wurde am 3. August 1882 in Oakland, California, geboren. Dort habe ich die Staatsschule durchgemacht und 1896—1899 die Hochschule des Staates San Francisco, »Lowell High School«, an welcher ich 1898—1899 Assistent im Chemischen Laboratorium war.

Von 1899—1903 studierte ich an der Universität von California (Berkeley) Naturwissenschaften. Hier habe ich im Jahre 1903 das Zeugnis »Bachelor of Science«, mit »Honorable Mention« erhalten und bekam den ersten Preis für mein »graduating thesis«. Im Jahre 1903 war ich zum »Le Conte Fellow« ernannt und als Assistent der Mineralogie an der Universität angestellt.

Schon 1900 arbeitete ich im mineralogischen Laboratorium über »post-graduate work« und publicierte im Jahre 1901 meine erste Arbeit. Auch in Chemie und Geologie habe ich »post-graduate work« ausgeführt.

Am Ende des Jahres 1903 erreichte ich durch »Civil-Service Examination« die Stelle als Mineralog und Chemiker in der geologischen Landesanstalt der Vereinigten Staaten in Washington und habe seitdem mehr als fünfzig mineralogische Arbeiten publiciert.

Waldemar Theodore Schaller.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.